

С учетом перечисленных граничных условий сетка характеристик может быть представлена в виде двух прямоугольных треугольников, примыкающих к поверхностям АС и СМ, и сектора радиуса R между ними. Для выбора направлений семейств линий α и β используем качественные условия: справа от точки С $\sigma_{xx} > \sigma_{yy}$, а слева, наоборот, $\sigma_{xx} < \sigma_{yy}$. С учетом формул преобразования $\sigma_{xx} = \sigma - \tau_s \sin 2\varphi$, $\sigma_{yy} = \sigma + \tau_s \sin 2\varphi$, (здесь φ - угол, отсчитываемый от положительного направления оси X до касательной к характеристике) эти условия могут быть выполнены, если линии α и β будут направлены так, как показано на рис. 1.

Однако построенная сетка характеристик не является единственной.

По тем же граничным условиям может быть построена и другая сетка характеристик, например, той же формы, но со значительно большим размером

пластической области. Для выбора единственного решения будем использовать дополнительные условия. Известно, что на образование приповерхностного слоя большое влияние оказывают помимо параметров заточки инструмента (передний γ и задний α углы резца, радиус округления режущей кромки ρ) параметры режима резания (Н - глубина резания, S - подача, W - скорость), которые в расчетной схеме пока не учитываются. Не учтены и механические свойства обрабатываемого материала, значительно влияющие на глубину проникновения пластической деформации и уровень упрочнения приповерхностной зоны.

В связи с этим в качестве дополнительного условия учтем влияние параметров режима резания и свойств обрабатываемого материала на глубину наклепанного слоя.

Таблица 1
Коэффициенты для определения глубины наклепанного слоя [6]

| Марка стали | Содержание углерода | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
|-------------|---------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|
| 10 | 0,05...0,15 | 25 | 35 | 160 | $2,5 \cdot 10^{-3}$ | 2,6 |
| 15 | 0,10...0,20 | 20 | 30 | 170 | $4,0 \cdot 10^{-3}$ | 2,3 |
| 20 | 0,15...0,25 | 17 | 28 | 180 | $6,0 \cdot 10^{-3}$ | 2,0 |
| 25 | 0,20...0,30 | 13 | 20 | 195 | $4,5 \cdot 10^{-2}$ | 1,8 |
| 30 | 0,25...0,35 | 9 | 25 | 205 | $8,5 \cdot 10^{-2}$ | 1,6 |
| 35 | 0,30...0,40 | 5 | 23 | 220 | $12 \cdot 10^{-2}$ | 1,45 |
| 40 | 0,35...0,45 | 0 | 22 | 235 | $16 \cdot 10^{-2}$ | 1,35 |
| 45 | 0,40...0,50 | -5 | 21 | 250 | 0,2 | 1,25 |
| 50 | 0,45...0,55 | -10 | 19 | 265 | 2,65 | 1,0 |
| 55 | 0,50...0,60 | -10 | 17 | 275 | 5,0 | 0,8 |
| 60 | 0,55...0,60 | -20 | 15 | 285 | 7,5 | 0,65 |
| У7 | 0,60...0,74 | -30 | 12 | 300 | 10,0 | 0,5 |
| У8 | 0,75...0,84 | -35 | 10 | 320 | 13,0 | 0,35 |

В работе [6] эту зависимость предложили находить в виде

$$h_0 = t_0 + t_1 H + t_2 S + t_3 W t_4, \quad (3)$$

где t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 - эмпирические коэффициенты, значения которых для ряда углеродистых марок стали приведены в табл. 1.

Как показали экспериментальные исследования, основным фактором, определяющим интенсивность накопления поврежденности при точении, является подача S [7]; поэтому формула (3) была упрощена и приняла вид

$$h_0 = t S' \quad (4)$$

где коэффициент t был определен для четырех марок стали:

| | | | |
|-----------|--------|--------|--------|
| 08X18H10T | ЭП-810 | ЭП-288 | ЭИ-811 |
| 0,125 | 0,025 | 0,15 | 0,059 |

Рассчитав по формулам (3) или (4) глубину наклепанного слоя, можно однозначно определить сетку характеристик, параметр которой ε определяется из решения трансцендентного уравнения

$$\begin{aligned} & \sin\left(\frac{\varepsilon + \alpha}{2}\right) \cos(\gamma + \alpha) \times \\ & \times \left[\cos\left(\frac{\pi}{4} + \varepsilon\right) + \sin \varepsilon \right] - \frac{h_0}{\rho} \sin \alpha \cos \varepsilon \times \\ & \times \sqrt{[1 - \sin(\gamma + \alpha)][1 - \sin(\gamma - \alpha)]} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

или по номограмме (рис. 2).

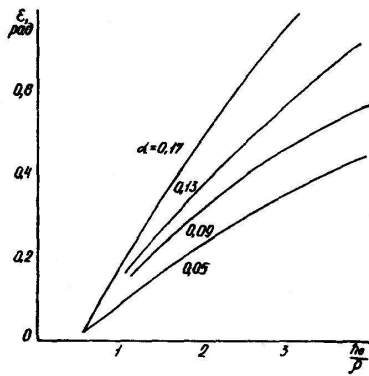


Рис. 2. Номограмма для определения угла ε

2. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Гидростатическое напряжение под задней гранью резца определяется из граничных условий

$$\sigma = \sigma_n - \tau_s \sin 2(\varphi - \mu),$$

где μ - угол наклона нормали к поверхности резца и оси X. Но при выбранной сетке характеристик $\varphi - \mu = \pi/4$, поэтому $\sigma = \sigma_n - \tau_s$. По известным экспериментальным данным и анализу работы [4] под задней гранью резца $\sigma_n \approx 2\tau_s$, поэтому $\sigma = \tau_s$ на линиях AC. Тогда в соответствии с интегралами Генки закон изменения гидростатического напряжения по пластической зоне будет

$$\sigma = 1 - 2(\varepsilon + \varphi + 3/4\pi). \quad (6)$$

На рис. 3 изображен годограф построенной сетки характеристик. Точка 1 отображает скорость движения жестких областей справа, слева и снизу от пластической области.

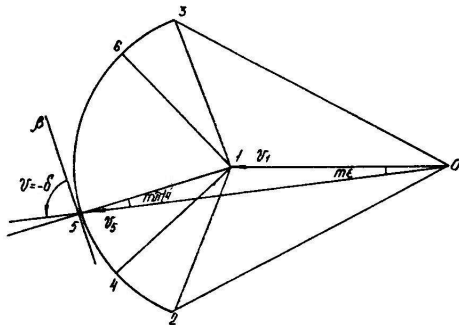


Рис. 3. Годограф сетки характеристик

При движении частиц через очаг деформации вдоль траектории 1 (см. рис. 1) прямая 1-2 обозначает разрыв в скорости на входе в очаг деформации вдоль линии MD, дуга 2-3 - изменение скорости в секторе BCD; прямая 3-1 - разрыв скорости на выходе из очага деформации вдоль линии AB. При движении вдоль траектории 11 разрывы скорости аналогично

отображаются прямыми 1-4 и 6-1, а изменение скорости в секторе BCD - дугой 4-6.

Таким образом, независимо от глубины, на которой рассматривается движение материальных частиц, степень деформации сдвига складывается из сдвигов на входе и выходе из очага деформации и деформации в секторе BCD. Причем величина скачка скорости на выходе и входе от траектории не зависит, а определяется радиусом сектора на годографе

$$v_{1,2} = (1/\sqrt{2}) v_1 \sin \varepsilon. \quad (7)$$

Степень же деформации сдвига в секторе BCD непосредственно зависит от траектории движения частиц, принимая тем большее значение, чем ближе траектория к поверхности заготовки. Для всех траекторий, расположенных выше точки D, степень деформации сдвига одинакова.

Для характеристики положения материальной частицы в очаге деформации введем безразмерный коэффициент m ($-1 \leq m \leq 1$).

На входе в очаг деформации $m = m_0$, где m_0 характеризует глубину рассматриваемой траектории относительно поверхности обрабатываемой заготовки. Значение $m_0 = 1$ соответствует всем траекториям, лежащим не ниже точки D, а $m_0 = 0$ - траектории входа в очаг деформации в точке F. Зная расстояние от траектории до поверхности заготовки h_1 , подсчитывали коэффициент:

$$m_0 = [1/(\varepsilon + \pi/4)] \arccos(1 - \frac{h_0 - h_1}{R})$$

$$\text{при } h_1 \leq h_D; \quad (8)$$

$$m_0 = 1 \text{ при } h_1 > h_D$$

$$\text{где } h_D = R \cos(\pi/4 - \varepsilon); \quad R = h_0 / (\sqrt{2} \sin \varepsilon + 1).$$

В процессе движения частицы через очаг деформации коэффициент изменяется в диапазоне $-m_0 \leq m \leq m_0$. Углы, характеризующие скорость частицы на годографе (см. рис. 3), линейно зависят от m : в треугольнике 0-5-1 угол 0-5-1 равен $m\pi/4$, угол 1-0-5 равен $m\varepsilon$, поэтому характеристический угол

$$\varphi = m(\varepsilon + \pi/4) - \pi/2. \quad (9)$$

Степень деформации сдвига, которую частица испытывает на входе и выходе из очага деформации, рассчитывается по формуле, предложенной Джонсоном [3]:

$$\Lambda = |v_{12} / v_n|, \quad (10)$$

где v_n - нормальная составляющая скорости течения на входе в очаг деформации. Из рис. 3 $v_n = v_1 \cos(\pi/4 - \varepsilon)$, поэтому

$$\Lambda = \sin \varepsilon / \sqrt{2 \cos(\pi/4 - \varepsilon)}. \quad (11)$$

Степень деформации сдвига, накопленная частицей при движении в секторе BCD, рассчитаем по формуле, предложенной И.П. Ренне [8]:

$$d\Lambda / dv = 2|\cos \delta / v \sin \theta|, \quad (12)$$

где dv - дифференциал дуги 2-3 годографа; δ - угол, отсчитанный против часовой стрелки от вектора скорости до вектора ускорения, совпадающего с касательной к годографу траектории движения частиц; θ - угол, отсчитанный против часовой стрелки от касательной к линии семейства α или к годографу линии семейства β до вектора скорости; v - текущая скорость перемещения.

В произвольной точке 5 годографа (см. рис.3) вектор скорости изображен линией 0-5, а вектор ускорения совпадает с касательной к отображению линии скольжения семейства β ; поэтому $\theta = -\delta$ и формула (12) принимает вид

$$\Lambda_{46} = \int_{v_4}^{v_6} dv / v \sin \theta. \quad (13)$$

или, после математических преобразований,

$$\Lambda_{46} = \sqrt{2} \left(\frac{\pi}{4} + \varepsilon \right) \sin \varepsilon \left| \int_0^m \frac{\operatorname{tg} m \pi / 4}{\sin m \left(\frac{\pi}{4} + \varepsilon \right)} dm \right|. \quad (14)$$

Суммарная степень деформации сдвига, накопленная частицей на глубине h_l , составляет $\Lambda = 2\Lambda_0 + \Lambda_{46}$.

3. МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА

Анализ компонентов тензора скорости вращения частиц металла показал, что при прохождении их в пластической области они совершают знакопеременный поворот. Из рис. 4 видно, что вся зона деформации состоит из двух участков квазимонотонной деформации АВ и BCD, на границе которых в точке В направление поворота материальных частиц изменяется на противоположное. В связи с этим поврежденность поверхностного слоя точения рассчитывается по формуле (1) при $n=2$:

$$\omega = (\omega_1)^{a(\sigma/T)_1} + (\omega_2 + \omega_3)^{a(\sigma/T)_{2+3}}, \quad (15)$$

где индексы 1, 2, 3 соответствуют участкам входа в очаг деформации, сектору DCBF и выходу.

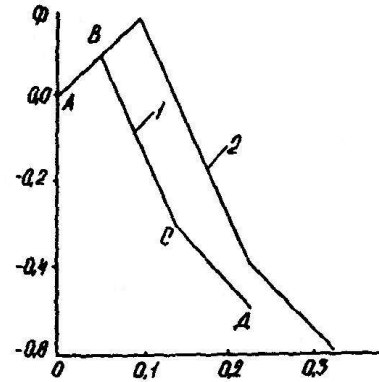


Рис. 4. Изменение угла Φ вдоль двух траекторий: 1 - траектория II; 2 - I

Составляющие поврежденности подсчитываются

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \sin \varepsilon / [\sqrt{2} \cos(\pi/4 - \varepsilon) \Lambda_p(\sigma/T_1, \mu\sigma_1)], \\ \omega_2 &= \sqrt{2} (\pi/4 + \varepsilon) \sin \varepsilon \times \\ &\times \left| \int_0^{m_0} \frac{\operatorname{tg} m \frac{\pi}{4} dm}{\sin m(\pi/4 + \varepsilon) \Lambda_p(\sigma/T_2, \mu\sigma_2)} \right|, \quad (16) \\ \omega_3 &= \sin \varepsilon / [\sqrt{2} \cos(\pi/4 - \varepsilon) \Lambda_p(\sigma/T_3, \mu\sigma_3)], \end{aligned}$$

где σ/T определяется по формуле (6) для каждого участка отдельно, а функции Λ_p и a по экспериментальным данным работы [1].

На рис. 5. приведены характерные расчетные зависимости поврежденности металла от параметров режима точения и геометрии инструмента. Наибольшая поврежденность имеет место в приповерхностном слое металла и при удалении от поверхности резко. Большое влияние на поврежденность оказывает отношение h_0/ρ , с ростом которого наблюдается существенное возрастание ω . Влияние углов заточки инструмента α и γ на поврежденность невелико, хотя с увеличением переднего и уменьшением заднего углов резца значение ω несколько уменьшается.

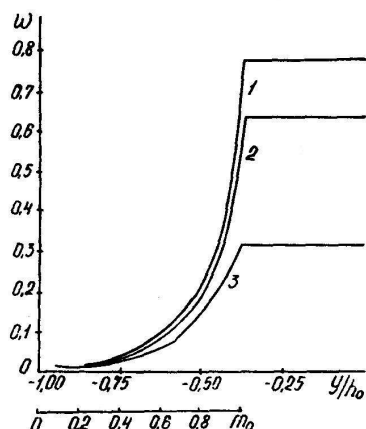


Рис.5 Распределение поврежденности по глубине наклепанного слоя:
1- $h_0 / \rho=8$; 2-4; 3-1,2

Наиболее существенное влияние на ω оказывают параметры режима точения, при ужесточении которых (увеличение подачи, скорости, глубины среза) наблюдается значительное возрастание поврежденности металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С. В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением.- М.: Металлургия, 1984.- 144 с.
2. Гун Г. Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением.- М.: Металлургия, 1983.- 351 с.

3. Джонсон У., Мэлор П. Теория пластичности для инженеров / Пер. с англ.- М.: Машиностроение, 1979.- 560 с.

4. Ивата И., Осакада А., Тэрасака И. Моделирование процесса ортогонального резания методом конечных элементов для жестко-пластического тела // Теоретические Основы инженерных расчетов. - 1984.- Т. 106, вып. 2.- С. 24..30.

5. Исаев А.И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием // Тр. ЦНИИТМАШ.- М.: Машгиз, 1950.- Вып. 33.- 358 с.

6. Кричмар К. С. Определение глубины наклепанного слоя при точении углеродистых сталей // Тр. Днепропетровского химико-технологического института.- Днепропетровск: изд. ДХТИ, 1955.- Вып. 4.- С. 139...143.

7. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания // Библиотека технолога -М.,: Машиностроение, 1976.- 278 с.

8. Ренне И. П., Иванова Э. А., Бойко Э. А. Неравномерность деформации при плоском пластическом течении. Ч. 1. Стационарное плоское течение.- Тула: изд. ТПИ, 1971.- 159 с.

9. Мижирицкий О.И., Игошин В.Ф., Пятунин С. В. Интенсификация режимов прокатки труб из коррозионноустойчивых марок стали // Обработка Металлов давлением: Межвуз. сб.- Свердловск: изд. УПИ им. С. М. Кирова, 1985.- Вып. 12.- С. 87...92.